

STICHTING GEOLOGISCHE AKTIVITEITEN



Mens en aardbeving, een haat-liefdesrelatie?

Antieke steden op een breuk, gedoemd vanaf hun stichting

door Manuel Sintubin

Departement Aard- & Omgevingswetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven; manuel.sintubin@ees.kuleuven.be

In het vorige nummer van Gea (juni 2010, nummer 2) staat een artikel van Johan H. ten Veen, waarin hij de uitdagingen en valkuilen schetst van de **archeoseismologie**, de jonge tak van de seismologie die aanwijzingen voor antieke aardbevingen in het archeologische archief bestudeert. Zo hoopt de archeoseismologie, naast de klassieke seismologie, de paleoseismologie en de aardbevingsgeologie, zijn steentje bij te dragen aan de studie van actieve breuksystemen, om zo het toekomstig aardbevingsgevaar nauwkeuriger te kunnen inschatten. Dit is trouwens een van de doelstellingen van het *International Geoscience Programme IGCP567 "Earthquake Archaeology. Archaeoseismology along the Alpine-Himalayan seismic zone"*. Maar op het raakvlak van aardbevingsgeologie en archeologie – kortom **aardbevingsarcheologie** – krijgt het verhaal van mens en aardbeving een heel andere dimensie. Een echte haat-liefdesrelatie...

Pinara

Johan ten Veen beschrijft hoe de modernste technieken (bv. LIDAR) aangewend worden om het aardbevingsverhaal te reconstrueren uit archeologische resten. De LIDAR-opnames van het Romeinse theater in de Lycische stad Pinara in Zuidwest-Turkije doen vermoeden dat tijdens het bouwen van dit theater breukactiviteit – en dus aardbevingsactiviteit – in de onmiddellijke omgeving van de stad mogelijk verantwoordelijk is voor de opgemeten systematische scheefstelling van de zitrijen (zie afb. 7 in het artikel van Ten Veen). Er is iets opmerkelijks aan de hand met de ligging van Pinara. Het monumentale centrum van de stad is immers gebouwd op vlakke tot zwakhellende terrassen tegen een steile kalkstenen klifwand (zie afb. 2 in het artikel van Ten Veen). In deze klifwand is een Hellenistische necropolis uitgehouwen (zie afb. 3A in het artikel van Ten Veen). Maar de klifwand draagt ook alle typische kenmerken van een actieve afschuivingsbreuk in het Oostelijke Middellandse-Zeegebied (zoals bv. een breukbreccie, het gepolijst oppervlak en schuifgroeven, zie afb. 3B van het artikel van Johan ten Veen en bijv. Stewart & Hancock 1988). De klifwand maakt dan ook deel uit van de **Kabaağaçbreuk**. De kans is groot dat deze breuk verantwoordelijk is voor de verwoestende historische aardbevingen die Pinara getroffen hebben, zeker omdat de aanwezige aardbevingschade heel wat seismische energie vergt en dus een nabij epicentrum impliceert.

Pinara lijkt dus gebouwd op de slechtst denkbare plaats, namelijk vlak tegen een actieve aardbevingsbreuk. Is dit een toevallig noodlot of is er iets anders gaande? Een rondreis langs

andere antieke steden in Zuidwest-Turkije kan hierover misschien uitsluitel geven.

Sagalassos

De antieke stad Sagalassos, zo'n 100 kilometer ten noorden van de toeristische kustplaats Antalya, wordt al decennialang opgegraven en onderzocht door een multidisciplinair onderzoeksteam van de Katholieke Universiteit Leuven. De archeologen vertelden ons dat zij aanwijzingen gevonden hadden voor zware aardbevingen in de 6de en 7de eeuw AD. Uitgebreid archeoseismologisch onderzoek heeft dit bevestigd (zie bv. Similox-Tohon et al. 2005, Similox-Tohon et al. 2006, Sintubin et al. 2003). Bijna alle restanten van gebouwen dragen inderdaad de sporen van aardbevingschade (afb. 1A). Alles wijst erop dat de stad getroffen moet geweest zijn door een of meerdere aardbevingen met een magnitude die waarschijnlijk groter was dan 6 en waarvan het epicentrum in de onmiddellijke omgeving van de stad moet gelegen zijn. Wat Sagalassos overkwam meer dan 1300 jaar geleden, is waarschijnlijk zeer vergelijkbaar met hetgeen het Italiaanse L'Aquila overkwam op 6 april 2009. Ook in Sagalassos kwamen we tot de verrassende vaststelling dat dwars door de stad tal van secundaire breuken lopen (afb. 1B) die zich afsplitsen van de hoofdbreuk, die net ten noorden van de stad het landschap vorm geeft met een indrukwekkende bergrug (Similox-Tohon et al. 2004) (afb. 1C). Net als in Pinara vinden we ook in Sagalassos de typische gepolijste kalksteenwanden met uitgehouwen graven (afb. 1D). Sagalassos is gebouwd als een arendsnest hoog boven de vruchtbare vallei (afb. 1E) op vlakke tot zwakhellende terrassen tegen een steile bergrug, de spectaculaire getuige van millennia-lange aardbevingsactiviteit. Want deze kalksteenwand (afb. 1C) vormt het breukvlak van een afschuivingsbreuk, de tot op heden onbekende **Sagalassosbreuk**. Ons onderzoek heeft dan ook een nieuwe actieve breuk aan het licht gebracht. Dit ongeveer 10 kilometer lange breuksegment blijkt in staat te zijn aardbevingen met een magnitude van 6 à 6,5 op te wekken. Onze resultaten zijn dan ook belangrijk voor toekomstige aardbevingrisicoanalyses in de omgeving van Sagalassos, met in de onmiddellijke nabijheid het kleine stadje Aglasun. Al is het maar om de inwoners van Aglasun bewust te maken van het dreigende aardbevingsgevaar. We werken daar ook aan binnen het gemeenschapsproject Saga-lasun.

De vraag is nu waarom de stichters van Sagalassos deze onherbergzame plek hoog in de bergen (afb. 1C) uitkozen voor hun nederzetting en niet een plek vlak bij de vruchtbare



A B



C Cbis



D E

Afb. 1. Sagalassos. (A) Typische aardbevingschade: gezakte sluitsteen in het Romeinse badhuis. (B) Secundaire afschuivingbreuken dwars door de mozaïekvloer in de bibliotheek. (C) Langgerekte bergrug waartegen Sagalassos gebouwd is (gelegen op de terrassen midden op de foto). (Cbis) De bergrug gezien vanuit Sagalassos. (D) Graftombes uitgehouwen in de breukwand. (E) Uitzicht vanuit Sagalassos over de vallei van Aglasun (centraal gelegen op de foto). (© Sintubin)

valleibodem (afb. 1E), zoals het huidige Aglasun. Een voor de hand liggende reden zou de hoeveelheid bronnen kunnen zijn die hoog langsheen de bergwand terug te vinden zijn. De stad had inderdaad twee aquaducten en was gesierd met tal van monumentale fonteinen. Maar ook strategisch kan de locatie zijn voordelen gehad hebben: beschermd langs één kant door een indrukwekkende bergrug (afb. 1C) en uitzicht over de lager gelegen valleien (afb. 1E). Maar misschien speelde de breuk nog een andere rol... Sagalassos staat immers ook bekend als een bedevaartsoord in de Keizercultus.

Gedoomde steden

Maar Pinara en Sagalassos zijn niet de uitzondering, eerder de regel. Vele antieke steden in Zuidwest-Turkije zijn gebouwd in een landschappelijke omgeving die zeer vergelijkbaar is met die van Pinara en Sagalassos. Andere voorbeelden zijn Cnidus (afb. 2A & B), Hierapolis (afb. 2C), Apamea (het oude Dinar), Priene (afb. 2D), In elk van deze sites vinden we bovendien de ontegensprekelijke aanwijzingen van antieke aardbevingschade. Deze antieke steden zijn tijdens hun bestaan getroffen geweest door een of meerdere zware aardbevingen, waarschijnlijk door activiteit langs de afschuivingsbreuk vlakbij de stad. We kunnen dan ook niet meer spreken over toeval. Het indrukwekkende landschap in Zuidwest-Turkije wordt immers in belangrijke mate gevormd door actieve afschuivingsbreuken die langgerekte bergwanden vormen met hooggelegen terrassen. Een uitverkoren plaats om een nederzetting op te zetten. Maar wat de eerste bewoners niet wisten, was dat zij op de dag dat zij hun stad stichtten ook het

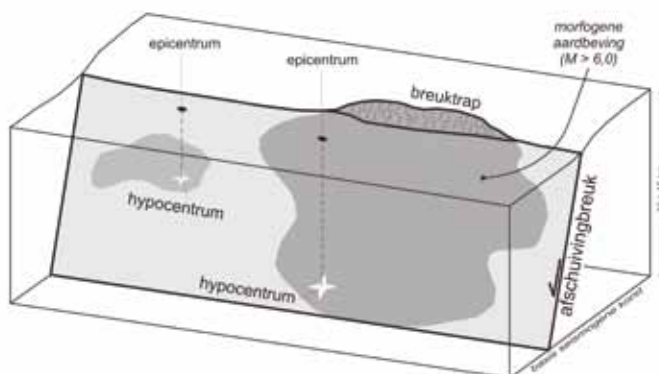
doodvonnis van hun stad ondertekenden. Zonder het te weten, bouwden zij hun nederzetting bovenop een actieve aardbevingsbreuk. Deze antieke steden waren veroordeeld vanaf het moment van de eerste steenlegging van het eerste gebouw!

Seismisch landschap

Een dergelijk landschap, dat gevormd wordt door breukactiviteit, noemen we een **seismisch landschap** (Michetti et al. 2005). Niet elke aardbeving laat sporen na in het landschap. Dit kunnen enkel de zogenaamde **morfogene aardbevingen** (afb. 3). Een aardbeving wordt veroorzaakt door de elastische energie die vrijkomt bij het openscheuren en verplaatsen van een breuksegment diep in de aardkorst. Hoe groter de scheur, hoe meer elastische energie er vrijkomt, en dus hoe groter de aardbeving is. De fysische parameters van de breukactiviteit (de oppervlakte van het verplaatste breuksegment en de gemiddelde verplaatsing langs het breuksegment) bepalen de **momentmagnitude** (eigenlijk de opvolger van de Richtermagnitude) van een aardbeving. Bij het merendeel van de aardbevingen gebeurt die breukactiviteit diep in de ondergrond en komt de scheur niet tot aan het aardoppervlak. Enkel bij de zware aardbevingen – vanaf een momentmagnitude van ongeveer 6 – wordt de gehele seismogene korst opgescheurd en komt de scheur dan ook tot aan het aardoppervlak (afb. 3). Er ontstaat een breuktrap. De **seismogene korst** is het bovenste deel van de aardkorst (tot een diepte van 10 à 15 km) dat zich bros gedraagt; met andere woorden dat breekt als er teveel spanning wordt opgebouwd.

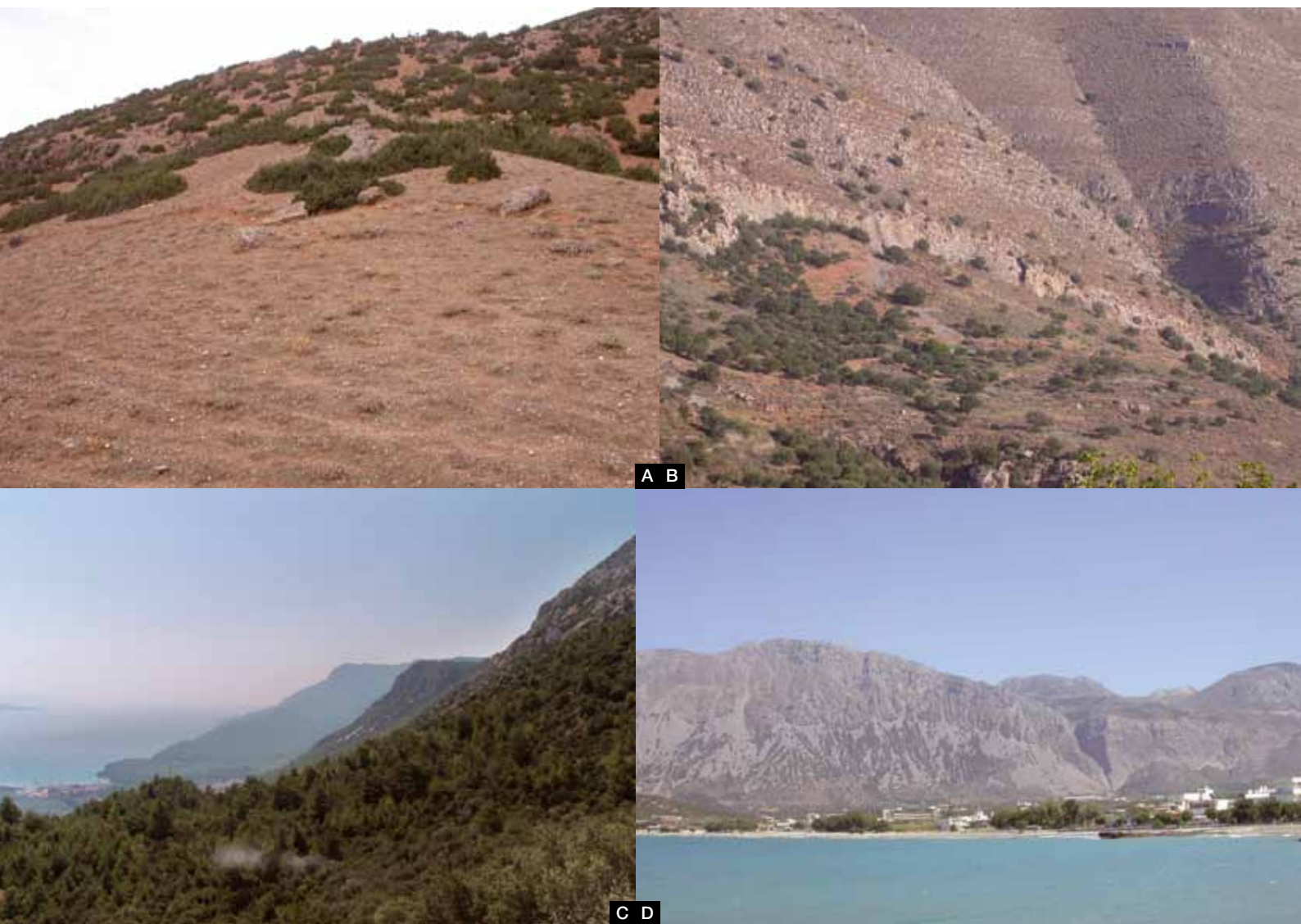


Afb. 2. (A) Cnidus met op de achtergrond de bergrug. (B) Gepolijste breukwand te Cnidus ter hoogte van de Demetertempel. (C) Actieve breukwand bij Hierapolis. (D) Breukwand boven Priene. (© Sintubin)

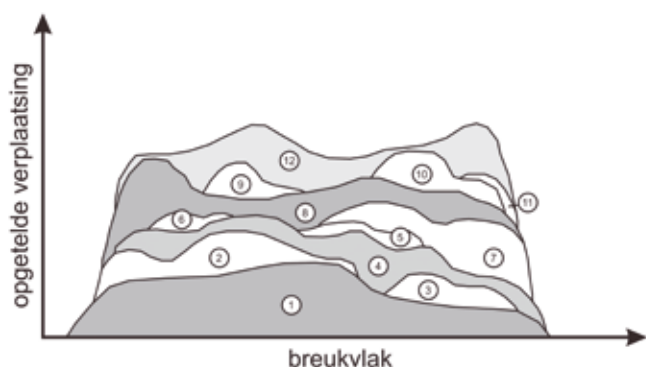


Afb. 3. Schematische doorsnede van de seismogene korst met afschuivingsbreuk; vanuit het hypocentrum (aardbevingshaard) ontstaat een aardbeving bij het verschuiven langsheen het breukvlak; bij een kleine aardbeving (links) blijft het verschoven breuksegment (donkergrijs) ondergronds; bij een zware – morfogene – aardbeving (rechts) komt het verschoven breuksegment (donkergrijs) tot aan het aardoppervlak en ontstaat een breuktrap (zie afb. 4A).

Een morfogene aardbeving zal dus het aardoppervlak openscheuren. Nemen we nu de afschuivingsbreuken in het Oostelijke Middellandse-Zeegebied (Zuidwest-Turkije, Griekenland, Kreta, Centraal-Italië), dan veroorzaakt een morfogene aardbeving een kleine sprong (breuktrap) in het landschap, van enkele centimeters tot een meter of meer (afb. 4A). Het nieuwgevormde landschappelijke element valt nu ten prooi aan weer en wind. Erosie zal trachten de landschappelijke versterking teniet te doen. Hoe minder impact erosie heeft, bijvoorbeeld in gebieden met weinig neerslag, hoe meer kans dat de breuktrap een lang leven beschoren is. Soms lang genoeg totdat hetzelfde breuksegment bij een volgende zware aardbeving weer openscheurt en er een extra verplaatsing optreedt (afb. 5). De breuktrap wordt zo steeds groter, wat dan weer zijn overlevingskans vergroot (afb. 4B). Stap voor stap, segment per segment, wordt de expressie van de breuk in het landschap steeds duidelijker (afb. 5). Een seismisch landschap is geboren (afb. 4C). De klifwand van Pinara (zie afb. 3A in het artikel van Ten Veen), alsook de bergrug boven Sagalassos (afb. 1C), zijn dan ook het opgetelde effect van honderden tot duizenden zware aardbevingen over een periode van tienduizenden tot meerdere honderdduizenden jaren (afb. 5). En dit actieve seismische landschap vindt de mens een ideale omgeving voor zijn nederzettingen.



Afb. 4. (A) Kleine breuktrap (de bruine richel midden door de foto) veroorzaakt door de Dinaraardbeving (1 oktober 1995, M 6,1), 10 jaar later nog steeds zichtbaar in het landschap (Dinar, Turkije). (B) Een breuktrap (de steilwand die naar rechts op de foto naar beneden gaat) ontstaan door het opgetelde effect van meerdere aardbevingen (Lastros, Kreta). (C) Een seismisch landschap (Gokova, Zuidwest-Turkije), de bergwand is een actieve afschuivingbreuk. (D) Een seismisch landschap (Oost-Kreta), de bergwand is een actieve afschuivingbreuk. (© Sintubin)



Afb. 5. Schematisch beeld van de wijze waarop stap voor stap het effect van individuele aardbevingen (genummerd) opgeteld wordt om zo de lange-termijnverplaatsing langs een breuk – en dus ook een seismisch landschap – te vormen; breukwerking bij zware aardbevingen (grijs gekleurd) scheuren het ganse breuksegment open en veroorzaken ook breuktrappen.

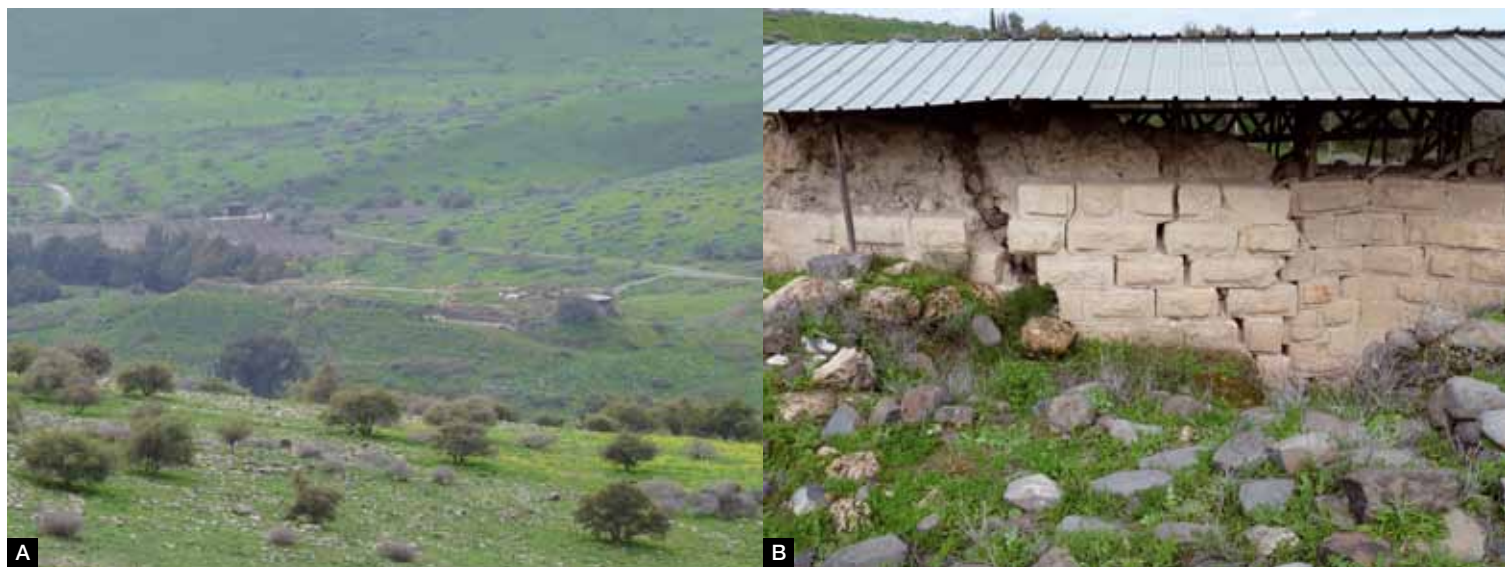
Maar naast afschuivingsbreuken ('normal fault') zijn er nog andere typen breuken die opmerkelijke landschappelijke elementen veroorzaken die uitnodigen tot het vormen van een nederzetting. Laterale schuifbreuken ('strike-slip fault') zijn breuken waarbij beide breukblokken langs elkaar schuiven zonder een verticale verplaatsing zoals bij een afschuivings- of opschuivingsbreuk. De San Andreasbreuk in Californië is het meest bekende voorbeeld. Een typisch landschappelijk element dat bij dit type breuk hoort, is een 'shutter ridge', een langgerekte heuvelrug middenin het laterale breuksysteem. Langsheen de Dode Zeebreuk, een ander voorbeeld van een lateraal

minimaal 8 meter: het opgetelde effect van meerdere zware aardbevingen sinds de Bronstijd. Een ware goudmijn voor het onderzoek naar de werking van de Dode-Zeebreuk.

Aardbevingactiviteit langs opschuivingsbreuken ('reverse fault') laten dan weer meer subtiele landschapselementen achter, zoals langgerekte heuvelruggen. Vaak worden die niet onmiddellijk herkend als een seismisch landschap. Dat maakt deze breuken des te gevaarlijker. Maar toch 'lokken' ze de mens. Want vaak vormen deze opschuivingsbreuken een barrière voor water (afb. 7A) en dat levert een veelheid van bronnen op. In (semi-)aride gebieden dus een uitgelezen plek om een landbouwgemeenschap te stichten. In het Midden-Oosten ontwikkelde men dan ook ingewikkelde ondergrondse irrigatiesystemen, de **Qanats** (afb. 7B), om de opgehouden grondwaterreservoirs maximaal te benutten (afb. 7A). Alleen de bewoners wisten niet dat ze hun nederzetting hadden gevestigd vlak bij gevaarlijke aardbevingsbreuken (Jackson 2006). Zo is ook ooit Teheran, de hoofdstad van Iran, ontstaan. Maar deze landbouwnederzetting is nu uitgegroeid tot een megastad van meer dan 8 miljoen inwoners. Teheran is dan ook gebouwd bovenop gevaarlijke, actieve opschuivingsbreuken. Een echt 'zwaard van Damocles'. Niet voor niets overwegen de Iranese autoriteiten de stad te ontruimen en zelfs een nieuwe hoofdstad elders te bouwen.

Heiligdommen

Onze zoektocht naar de relatie tussen mens en aardbeving onthult nog een onverwachte dimensie. Heeft u zich ooit de vraag gesteld hoe het kwam dat de Pythia, de orakelpriesteres in het heiligdom onder de Apollotempel in het antieke **Delphi**, in trance geraakte? De Griekse filosoof Plutarchus merkte al op dat de Pythia haar gave te danken had aan dampen. Onderzoek



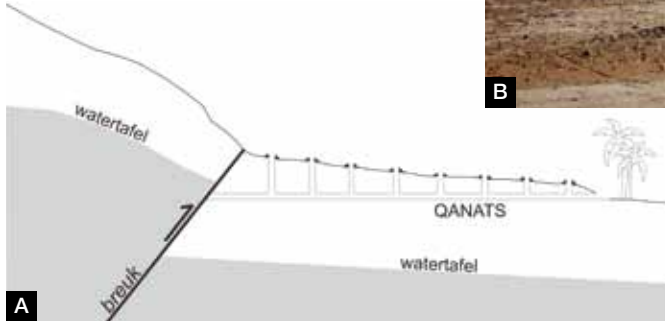
Afb. 6. (A) Zicht op de langgerekte heuvelrug ('shutter ridge') midden op de foto waarop het Kruisvaarderkasteel Vadum Iacob is gebouwd (rechts op de heuvelrug). (B) De verplaatste omwalling; het kasteel is gebouwd op een tektonische plaatgrens (Dode Zeebreuk) tussen de Afrikaanse plaat (links op foto) en de Arabische plaat (rechts op foto); de verplaatsing bedraagt ongeveer 2 meter. (© Sintubin)

schuifbreuksysteem, vinden we dan ook vele nederzettingen op deze heuvelruggen. Vooral het kruisvaarderskasteel Vadum Iacob (Metzad 'Ateret, Israël) (afb. 6A), gebouwd op een strategische oversteekplaats aan de Jordaan, spreekt tot de verbeelding van elke archeoseismoloog. De Dode-Zeebreuk loopt immers niet alleen dwars door het kasteel, maar ook door de oudere Hellenistische en Bronstijddresten, en zelfs door de Ottomaanse moskee die later binnen de omwallingen is gebouwd (bv. Marco et al. 1997). Telkens zijn de restanten van de gebouwen iets verschoven langs de breuk: de moskee enkele tientallen centimeters, de muren van het kruisvaarderskasteel ongeveer 2 meter (afb. 6B), de Bronstijddrestanten

heeft nu uitgewezen dat de orakelkamer onder de Apollotempel pal gelegen is op een afschuivingbreuk die dwars door Delphi loopt (De Boer & Hale 2000, De Boer et al. 2001, Etiope et al. 2006, Piccardi et al. 2008). Delphi ligt in een seismisch landschap (afb. 8) vergelijkbaar met Pinara, Sagalassos en de andere Lycische steden in Zuidwest-Turkije. Deze afschuivingsbreuk doorsnijdt bitumineuze kalkstenen. De gassen die hierbij vrijkomen zijn lichte koolwaterstoffen, zoals ethyleen, dat hallucinerende eigenschappen wordt toegeschreven.

Maar ook in Hierapolis in Zuidwest-Turkije vinden we onder de Apollotempel een bijzondere kamer: het **Plutonium**, de tempel

Afb. 7 (A) Schematische doorsnede van een opschuivingsbreuk met een opgehouden watertafel; de Qanats tappen dit reservoir aan (naar Jackson 2006). (B) Qanats (Erfoud, Marokko) (foto: Bernard Gagnon, bron: <http://en.wikipedia.org>)



van Pluto, god van de dood en de onderwereld. Alleen de priesters wisten een bezoek aan deze ondergrondse kamer te overleven. Gewone stervelingen overleefden het niet: zij stikten door de zware koolzuurgasdampen die via spleten in de ondergrond in deze kamer terechtkwamen. Maar ook in Cnidus ligt de Apollotempel, net zoals de Demetertempel (afb. 2B), op of tegen een actieve afschuivingsbreuk. Uiteindelijk is de ligging van het cultuuroord Sagalassos hoog in de bergen dan ook geen toeval. De kans dat nederzettingen in het Oostelijke Middellandse-Zeegebied op of tegen een afschuivingsbreuk gebouwd zijn, is zeer groot. Deze actieve breuken zijn vooral een bron van leven, bijna letterlijk door de overvloedige aanwezigheid van bronnen. De mystiek die hieraan verbonden was, vertaalde zich misschien snel in cultus en orakels. En als de aardbeving dan toesloeg ... dan was het ook de toorn van Poseidon (afb. 11), god van de aardbevingen, die over de mens neerkwam.

Vragen

Aardbevingsarcheologen worstelen met vele vragen. Hoe zouden onze verre voorouders omgegaan zijn met aardbevingen en de gevolgen van aardbevingen? Welke invloed hebben aardbevingen gehad op de geschiedenis van de mensheid?



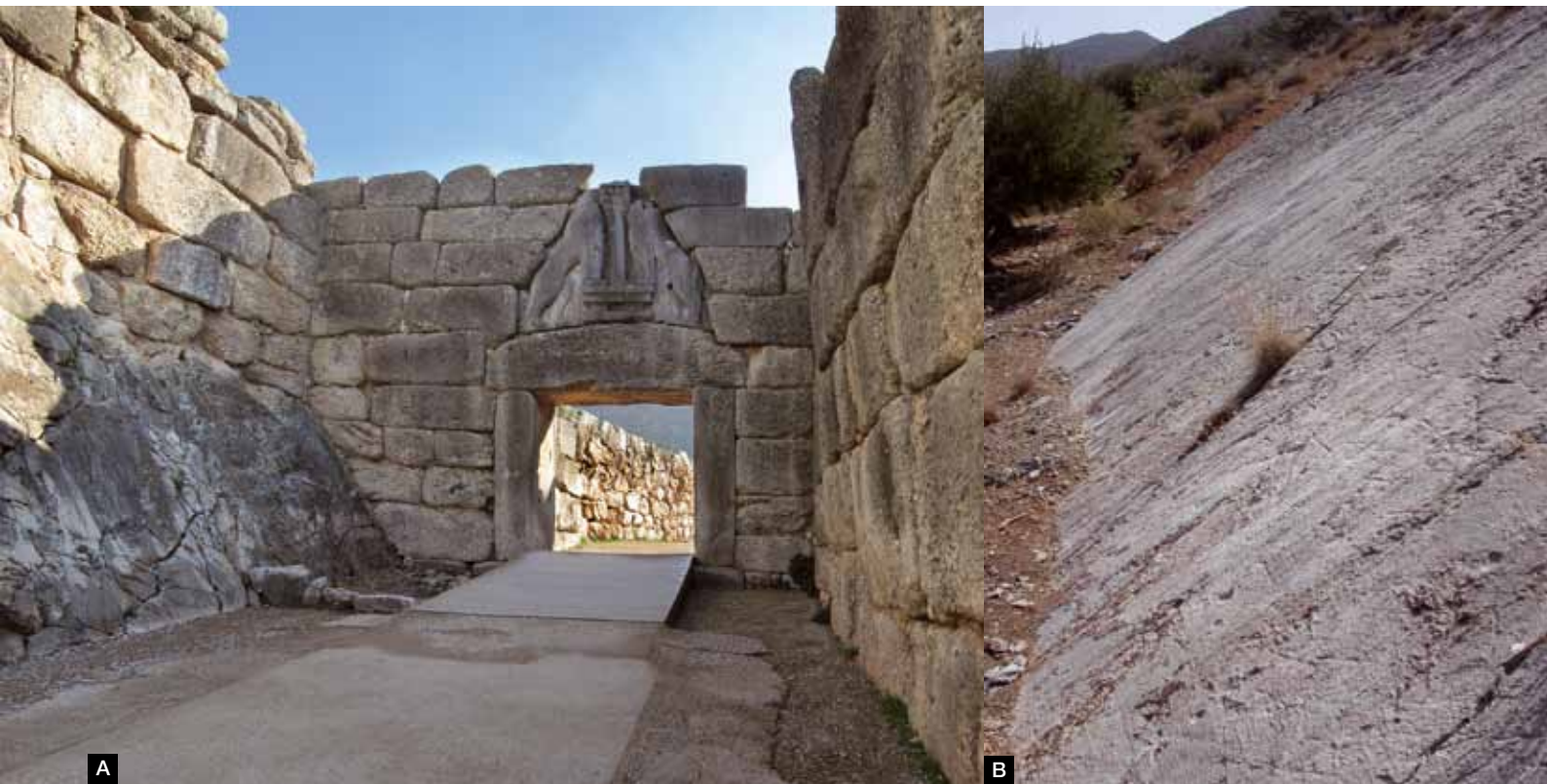
Afb. 8. Delphi, gebouwd tegen een actieve breukwand (achtergrond links op foto); de Apollotempel (onderaan het theater centraal op de foto) ligt pal op een afschuivingsbreuk. (Bron: <http://en.wikipedia.org>)

Neem bijvoorbeeld de Leeuwenpoort in het Helladische Mycene (late Bronstijd) (afb. 9A). Het gepolijste kalksteenvlak, waarop de omwalling net naast de Leeuwenpoort is gebouwd, heeft alle kenmerken van een actieve afschuivingsbreuk. Beseften de inwoners van Mycene dit? Zij moeten morfogene aardbevingen hebben meegemaakt in de omgeving van Mycene. Zouden zij eventuele verschuivingen langsheen de gepolijste kalksteenwanden (afb. 9B) verbonden hebben met die aardbevingen? En zouden zij zich gerealiseerd hebben dat ze hun omwallingen bovenop een vergelijkbaar schuifvlak hadden gebouwd (afb. 9A)? Waarschijnlijk zullen we nooit op deze vragen een antwoord vinden.

Vaak wordt gezegd dat de traditionele bouwstijl in aardbevingsgebieden intrinsiek antiseismisch is. Zou dit een bewust, doordacht proces geweest zijn van antieke architecten? Of zit er eerder een Darwinistisch trekje aan, een soort 'survival of the fittest'? Het zou wel eens kunnen dat de bouwtechniek van de gebouwen die na een aardbeving nog rechtop stonden, gewoon gekopieerd werden. Aardbeving na aardbeving ontstond zo een soort architectonische evolutie waarbij het resultaat steeds meer en meer aangepast was om lokale aardbevingen te doorstaan. Ook op deze vraag zullen we waarschijnlijk nooit een antwoord kunnen geven.

Het correct inschatten van de rol die aardbevingen mogelijk gespeeld hebben in onze geschiedenis, is in het begin van de 20ste eeuw vooral door toedoen van de archeologen Evans en Schaeffer sterk gekleurd door hun honger naar dramatiek. Het verhaal doet de ronde dat toen Sir Arthur Evans in de jaren '20 een aardbeving meemaakte in Heraklion op Kreta, hij plots een verklaring had voor de verwoestingen van het oude Minoïsche paleis (afb. 10) te Knossos (rond 1700 v. Chr.): een aardbevings-ramp. Een echte 'deus ex machina'! Bedenk dat de seismologie toen nog in zijn kinderschoenen stond en dat er van platen tektoniek nog geen sprake was! Het werd nog dramatischer toen Claude Schaeffer – de archeoloog die de late Bronstijdstad Ugarit (Syrië) opgegraven heeft – de verwoestingen rond 1200 v. Chr., aanwezig in het ganse Oostelijke Middellandse-Zeegebied, toeschreef aan een aardbevingscatastrofe die het apocalyptische einde betekende van de late Bronstijdcultuur.

Het is echter de vraag of een aardbeving, hoe zwaar ook, überhaupt een maatschappij kan doen ineensstorten, of zelfs een hele cultuur van de kaart kan vegen. Recente voorbeelden geven een klaar antwoord: neen! Van het idee van apocalyptische aardbevingen in de oudheid moet dan ook definitief afgestapt worden. Wat echter niet wil zeggen dat aardbevingen geen rol hebben gespeeld in de geschiedenis. Voorbeelden uit het Oostelijke Middellandse Zeegebied tonen duidelijk aan dat veel afhangt van de socio-economische, militaire en politieke context waarin een verwoestende aardbeving zich voordoet. Voor een intern verzwakte samenleving kan een aardbeving – zelfs geen al te zware – de ondergang inluiden. Voor een welvarende samenleving kan zelfs de zwaarste aardbeving nieuwe perspectieven openen. Denk aan de verwoestende



Afb. 9. (A) De Leeuwenpoort te Mycene; links onder de omwalling is de gepolijste kalksteenwand de uitdrukking van een actieve afschuivingbreuk (foto: Andreas Trepte, bron: <http://en.wikipedia.org>). (B) Een typisch schuifvlak van een actieve afschuivingbreuk in het Oostelijke Middellandse-Zeegebied (Jochtasbreuk, Kreta).

aardbeving en tsunami die op Allerheiligen 1755 **Lissabon** met de grond gelijkmaakte. Wij plukken nog steeds de vruchten van de rationele aanpak van deze natuurramp door Markies de Pombal. Zijn verzet tegen de clerus die de getroffen bevolking trachtte in te beelden dat de aardbeving de straf van God was, luidde uiteindelijk de definitieve scheiding van kerk en staat in en zette Europa op het pad van de Verlichting.

Evolutie

Spitten we de relatie tussen mens en aardbeving nog wat dieper uit, dan wordt meer en meer duidelijk hoe seismische landschappen een cruciale rol gespeeld hebben, niet alleen in de geschiedenis van de mensheid, maar waarschijnlijk ook in de evolutie van de menselijke soort.

Het lijkt een paradox, maar tektonisch actieve gebieden, getekend door seismische landschappen, leveren meer stabiele leefomgevingen op dan geologisch stabiele gebieden. Tektonisch stabiele gebieden zijn vaak gekenmerkt door uitgestrekte, monotone vlakten of plateaus. Seismische landschappen echter zijn jong met een grote diversiteit aan ecosystemen. Breukactiviteit kan bijvoorbeeld rivieren tijdelijk afdammen met de vorming van meertjes tot gevolg; deze meertjes vormen dan weer het centrum van een vruchtbare biotoop. Aardbevingen houden dit landschap blijvend jong. De uitgesproken topografie biedt een strategisch voordeel, al is het maar voor de jacht. De langgerekte bergruggen, zo eigen aan seismische landschappen, vormen ook barrières. Deze barrières veroorzaken op het vlak van de evolutie een soort eilandeffect, maar zorgen ook voor microklimaten en ecologische niches. Op het einde van de laatste ijstijd ontstonden zo, bijvoorbeeld in gunstige niches van de seismische landschappen van het Dode Zeebreuksysteem, de eerste sedentaire mensengemeenschappen – de Steentijd **Natufische cultuur** – die een eerste aanzet tot domesticatie van planten, kortom landbouw, realiseerden.

Tektonisch actieve gebieden vragen veel van plant en dier, in de eerste plaats een sterk aanpassingsvermogen aan de steeds

wisselende omgevingsfactoren. In deze gebieden is het tempo van soortvorming dan ook relatief hoog. Het zal u niet verwonderen dat de wieg van de mensheid in de tektonisch actieve omgeving van de **Oost-Afrikaanse Slenk** gezocht moet worden. De evolutie van de soort *Homo sapiens* is dan ook sterk tektonisch gestuurd.

Tenslotte is ook de migratie van de mens – ‘*out of Africa*’ – tektonisch gestuurd. Plaatgrenzen zijn doorgaans lineaire structuren. Zij vormen vaak de perfecte migratiewegen en handelsroutes. De migratie uit Afrika gebeurde dan ook in belangrijke mate langs de noord-zuid georiënteerde corridor van de Oost-Afrikaanse Slenk, de Rode Zee en het ganse Dode Zee-slenksysteem; een snelweg als het ware van diep in Oost-Afrika tot aan de grenzen van Europa en Centraal-Azië. Het Dode Zee-slenksysteem in het Midden-Oosten is later een belangrijke rol blijven spelen in de socio-economische (bv. handelsroutes), politiek-militaire en religieuze geschiedenis (bv. Kruistochten) van de mensheid.

Mens en aardbeving

De relatie tussen mens en aardbeving is een ware haat-liefdesrelatie. De mens vervloekt het onvermijdelijke leed dat zware aardbevingen telkens weer veroorzaken. We gaan dan ook een waar gevecht aan met de aardbevingen: de wetenschappers die de geheimen van de aardbevingen trachten te doorgronden (o.a. de archeoseismologie), maar ook de ingenieurs, die onze gebouwen zoveel mogelijk trachten te beveiligen tegen aard-schokken.

Maar op langere termijn laten aardbevingen ook een ander gezicht zien. Door het opgetelde effect gedurende eeuwen en millennia liggen aardbevingen aan de basis van seismische landschappen, gekenmerkt door grote complexiteit en verscheidenheid. Aardbevingen vormen dan ook een belangrijke ‘aandrijving’ die niet alleen de menselijke geschiedenis gestuurd heeft, maar ook gewoonweg aan de basis ligt van de menselijke evolutie.



Afb. 10. Het 'huis van de gevallen stenen' te Knossos (Kreta), volgens Sir Arthur Evans veroorzaakt door een catastrofale aardbeving rond 1700 v.Chr. (© Sintubin)

Leven op Aarde, een actieve planeet, zit vol risico's. Maar leven op Aarde is ook verre van saai. Het levert een boeiend verhaal op vol onverwachte wendingen. Aardbevingen zijn dan ook de peper en het zout van ons bestaan hier op Aarde.

Referenties

De Boer, J. Z. & Hale, J. R. 2000. The geological origins of the oracle at Delphi, Greece. In: The Archaeology of Geological Catastrophes (edited by McGuire, W. J., Griffiths, D. R., Hancock, P. L. & Stewart, I. S.). Special Publications 171. Geological Society, London, 399-412.

De Boer, J. Z., Hale, J. R. & Chanton, J. 2001. New evidence for the geological origins of the ancient Delphic oracle (Greece). *Geology* 29(8), 707-710.

Etiopie, G., Papatheodorou, G., Christodoulou, D., Geraga, M. & Favali, P. 2006. The geological links of the ancient Delphic Oracle (Greece): A reappraisal of natural gas occurrence and origin. *Geology* 34(10), 821-824.

Afb. 11. De 'aard-schudder' Poseidon, god van de aardbevingen (Korinthische plaque (550-525 v.Chr., Penteskouphia, Louvre). (foto: Marie-Lan Nguyen, bron: <http://nl.wikipedia.org>)



Jackson, J. 2006. Fatal Attraction: living with earthquakes, the growth of villages into megacities, and earthquake vulnerability in the modern world. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A* 364, 1911-1925.

Marco, S., Agnon, A., Ellenblum, R., Eidelman, A., Basson, U. & Boas, A. 1997. 817-year-old walls offset sinistrally 2.1 m by the Dead Sea Transform, Israel. In: *Paleoseismology: Understanding past earthquakes using Quaternary Geology* (edited by Hancock, P. L. & Michetti, A. M.). *Journal of Geodynamics* 24, 11-20.

Michetti, A. M., Audemard M., F. A. & Marco, S. 2005. Future trends in paleoseismology: Integrated study of the seismic landscape as a vital tool in seismic hazard analyses. *Tectonophysics* 408, 3-21.

Piccardi, L., Monti, C., Vaselli, O., Tassi, F., Gaki-Papanastassiou, K. & Papanastassiou, D. 2008. Scent of a myth: tectonics, geochemistry and geomythology at Delphi (Greece). *Journal of the Geological Society, London* 165, 5-18.

Similox-Tohon, D., Sintubin, M., Muchez, P., Vanhaverbeke, H., Verhaert, G. & Waelkens, M. 2005. Identification of a historical morphogenic earthquake through trenching at ancient Sagalassos (SW Turkey). *Journal of Geodynamics* 40, 279-293.

Similox-Tohon, D., Sintubin, M., Muchez, P., Verhaert, G., Vanneste, K., Fernandez-Alonso, M., Vandycke, S., Vanhaverbeke, H. & Waelkens, M. 2006. The identification of an active fault by a multidisciplinary study at the archaeological site of Sagalassos (SW Turkey). *Tectonophysics* 420, 371-387.

Similox-Tohon, D., Vanneste, K., Sintubin, M., Muchez, P. & Waelkens, M. 2004. Two-dimensional Resistivity Imaging: a Tool in Archaeoseismology. An Example from Ancient Sagalassos (Southwest Turkey). *Archaeological Prospection* 11, 1-18.

Sintubin, M., Muchez, P., Similox-Tohon, D., Verhaert, G., Paulissen, E. & Waelkens, M. 2003. Seismic catastrophes at the ancient city of Sagalassos (SW Turkey) and their implications for the seismotectonics in the Burdur-Isparta area. In: *The Isparta Angle, SW Turkey - Its Role in the Evolution of Tethys in the Eastern Mediterranean Region* (edited by Akinci, Ö., Robertson, A. H. F., Poisson, A. & Bozkurt, E.). *Geological Journal* 38. John Wiley & Sons Ltd, Liverpool, 359-374.

Stewart, I. S. & Hancock, P. L. 1988. Normal fault zone evolution and fault scarp degradation in the Aegean region. *Basin Research* 1, 139-153.

